

明 細 書

接合の形成方法およびこれを用いて形成された被処理物

5 <技術分野>

本発明は、接合の形成方法およびこれを用いて形成された被処理物に係り、特に、半導体基板上に電子素子を形成するための接合の形成方法、液晶パネルなどに用いられる絶縁性基板表面に半導体薄膜を形成した基板に、電子素子を形成するための接合を形成する方法に関する。

10

<背景技術>

例えば半導体基板に、素子領域を形成するに際しては多数の p n 接合が用いられる。また、基板表面に絶縁膜を介してシリコン薄膜を形成した S O I (silicon on insulator) 基板は D R A M など種々の半導体装置に広く用いられている。また基板表面に半導体薄膜を形成したガラス基板は、この半導体薄膜中に薄膜トランジスタ (T F T) を含む液晶の駆動回路を集積化することにより液晶パネルの小型化、高速化を企図して注目されている。

15

このように種々の半導体デバイスを形成するに際し、p n 接合が用いられる。このような p n 接合の形成方法としては、従来、n 型シリコン基板にイオン注入でボロンなどの p 型不純物を導入した後、ハロゲンランプで電氣的に活性化する方法が用いられている。

20

例えば、p 型不純物であるボロンの導入方法としては、イオン注入の他に、極低エネルギーで効率よく粒子を導入できる次世代の方法としてプラズマドーピングが期待されている。

25

導入されたボロンイオンなどのイオンを電氣的に活性化させる方法としては、ハロゲンランプ光の他、キセノンフラッシュランプ光、全固体レーザー光、エキシマレーザー光を照射する方法などが研究開発されている。

キセノンフラッシュランプ光、固体レーザー光、エキシマレーザー光は、いずれもハロゲンランプ光よりも短波長に強度のピークを持っている。例えば、従来のタングステンハロゲンランプ光の場合は 1000-1100 nm に強度のピークを持つ

30

のに対して、キセノンフラッシュランプ光は 400-500 nm、エキシマレーザー光は 400 nm 以下の波長でピークを持つ。短波長で強度のピークを持つため、シリコンに効率よく光を吸収させることができる（非特許文献 1、2 参照）。これにより、基板表面の浅い部分で光のエネルギーを吸収させて浅い活性化層を形成することができる。

また、シリコン結晶とアモルファスシリコンの光の吸収係数の差を利用して浅い活性化層を形成する方法も提案されている。つまり、375 nm 以上の波長範囲では、シリコン結晶と比較してアモルファスシリコンの方が光の吸収係数が大きい。そこで、例えば、光を照射する前のシリコン基板表面にあらかじめアモルファス層を形成しておき、その後に光を照射することでアモルファス層により多くの光のエネルギーを吸収させて、浅い活性化層を形成するというものである。アモルファス層の形成は、ゲルマニウムなどをイオン注入することで形成されている（非特許文献 1、2、3、4、5 参照）。

これらの研究成果により、375 nm 以上、800 nm 以下の短波長の光を照射して効率よく光のエネルギーを基板に吸収させて浅い接合を形成した結果が報告されている（非特許文献 1、2 参照）。これらの報告では、不純物の導入に先立ち、基板表面のプレアモルファス化を行い、その後に不純物の導入をするのが一般的である。ここで、不純物の導入には BF_2^+ や B^+ のイオン注入が、プレアモルファス化にはゲルマニウムやシリコンのイオン注入が用いられている。つまり、2 回のイオン注入を行う必要があり工程が複雑であるという課題があった。また、浅い接合を形成するためには、 BF_2^+ や B^+ のイオン注入は加速電圧を数百 V まで下げなければならないため、ビーム電流値が低下しスループットが低いという問題もあった。さらには、2 回のイオン注入条件の組合せが多様であることや、ボロンの導入と電氣的活性化の方法はそれぞれ個別に研究開発されることが多いことから、照射する電磁波の波長にあった適切な基板表面の状態を把握するには至っていないのが現状である。

（非特許文献 1）Ext. Abstr. of IWJT, pp23-26, Tokyo, 2002.

（非特許文献 2）Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, pp53-54, Kyoto, 2003.

（非特許文献 3）Ext. Abstr. of IWJT, pp31-34, Tokyo, 2002.

(非特許文献 4) Ext. Abstr. of IWJT, pp27-28, Tokyo, 2002.

(非特許文献 5) 2000 International Conference on Ion Implantation Technology Proceedings, 2000, pp. 175-177.

5 <発明の開示>

シリコン基板などの固体基体に不純物を導入した後、電磁波を照射して電氣的に活性化させる接合の形成方法において、不純物の導入には BF^{2+} や B^+ のイオン注入が、プレアモルファス化にはゲルマニウムやシリコンのイオン注入が用いられているが、2 回のイオン注入を行う必要があり工程が複雑であるという課題があった。また、浅い接合を形成するためには、 BF^{2+} や B^+ のイオン注入は加速電圧を数百 V まで下げなくてはならないので、ビーム電流値が低下しスループットが低いという課題もあった。さらには、2 回のイオン注入条件の組合せが多様であることなどから、照射する電磁波の波長にあった適切な基板表面の状態を把握するには至っておらず、照射する電磁波に適応した基板表面の作成方法も確立されていないという課題があった。

このような状況のなかで、工程が簡単で従来のイオン注入と比べてスループットが高く、照射する電磁波の波長に適応した適切な基板表面の状態を作る方法が求められていた。

本発明は、前記実情に鑑みてなされたもので、工程が簡単でスループットが高く、浅い接合を高精度に形成することができる接合の形成方法を提供することを目的とする。

そこで本発明の方法では、照射する光（電磁波）の波長に対応した適切な基板表面の状態を形成し、この後に、光（電磁波）を照射して不純物を電氣的に活性化させるものである。

本発明者らは、プラズマドーピングで条件を変えてボロンをシリコン基板に導入する試料の作成と、エリプソメータを用いた試料表面の光学特性の評価を繰り返す実験から、プラズマ条件を変えることで、試料表面の光の吸収係数、反射率、吸収率、ドーピング層の厚さなどを調整できることを発見した。さらに、プラズマ条件とボロンを電氣的に活性化させるために照射する光には、試料が光を効率よく吸収して導入した不純物を高い割合で電氣的に活性化でき、このボロンを含

む層が選択的に励起され、層内でボロンが良好に活性化されるようにし、不純物がシリコン基板の深く位置まで拡散するのを抑制するための適切な組合せがあることを理論的にも見出した。本発明はこの点に着目してなされたものである。

5 本発明では、あるいは、シリコンの固体基体に不純物を導入した後、電磁波を照射して電氣的に活性化させる接合の形成方法において、電磁波を照射する前に He プラズマを照射することを特徴とする。He プラズマを照射することで、375 nm 以上、800 nm 以下の光に対するシリコン基板表面の光の吸収率が大幅に向上するためである。He プラズマの代わりに、Ar プラズマを用いても良い。または、He や Ar で希釈した不純物となるべき元素を含むプラズマでも同様の効果を得ることができる。

10 すなわち、本発明の接合の形成方法は、半導体基板表面に前記半導体基板中で電氣的に活性になる元素を含む薄膜を形成する工程と、前記薄膜を選択的に励起し、前記薄膜内で、前記元素を活性化するように、前記半導体基板に、375nm 以上の波長に強度のピークを持つ光を照射する工程とを含む。

15 ここで光としては電磁波を含めた広義での光を含むものとする。選択的に励起するためのエネルギーとしてはレーザのように狭帯域のものではなく、また直進性を持たない光を用いるのが望ましい。このようにすることで、前記薄膜が有する広い範囲の波長に対する高い光の吸収率を有効に活用できるからである。これに対して、レーザのように狭帯域のものでは前記薄膜が有する特定の波長に対する高い吸収率しか利用できない。

20 さらに、レーザは、一般的に、その出力の限界から小さい面積にしか照射することができない。そのため、例えば 1 cm×1 cm 以上のような比較的大きな面積に照射して製品を処理したい場合には、スキャンするなどの方法が取られる。これにより、スループットが制限されるという製造上の短所にも対応が必要となる。それに対して、ハロゲンランプやキセノンランプでは広い範囲の波長からなる光を大面積に一度に照射できるので上記のような課題はなく、望ましい。

25 なおこの半導体基板中で電氣的に活性になる元素を含む薄膜は、通常前記半導体基板をプラズマドーピングにより改質して形成する、または、前記半導体基板をプラズマドーピングにより改質すると同時に前記半導体基板中で電氣的に活性になる元素をドーピングして形成する、または、プラズマドーピングにより前記

半導体基板の表面に堆積物を堆積させて形成するものを含む。

例えば、前記半導体基板中で電氣的に活性になる元素を含む薄膜は、プラズマ照射により半導体基板の表面をアモルファス化した後に形成されるようにしてもよいし、半導体基板中で電氣的に活性になる元素を半導体基板に導入した後にプラズマ照射により半導体基板の表面をアモルファス化して前記半導体基板中で電氣的に活性になる元素を含む薄膜を形成するようにしてもよい。

また本発明の接合の形成方法は、前記光を照射する工程が、前記薄膜の光の吸収率が、波長を λ (nm) とし、吸収率を A (%) として、波長が 375 nm 以上で 500 nm 未満のときは $A > 7 E 3 2 \lambda^{12.316}$ 、波長が 500 nm 以上で 600 nm 未満のときは $A > 2 E 1 9 \lambda^{7.278}$ 、波長が 600 nm 以上で 700 nm 未満のときは $A > 4 E 1 4 \lambda^{5.5849}$ 、波長が 700 nm 以上で 800 nm 未満のときは $A > 2 E 1 2 \lambda^{4.7773}$ の少なくとも 1 つを満たすものを含む。

また本発明の接合の形成方法は、前記薄膜の光の吸収係数が、波長を λ (nm) とし、吸収係数を α (cm⁻¹) として、波長が 375 nm 以上で 500 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 3 8 \lambda^{12.505}$ 、波長が 500 nm 以上で 600 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 2 4 \lambda^{7.2684}$ 、波長が 600 nm 以上で 700 nm 未満のときは $\alpha > 2 E 1 9 \lambda^{5.5873}$ 、波長が 700 nm 以上で 800 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 1 7 \lambda^{4.7782}$ の少なくとも 1 つを満たすことを特徴とする。

これらの方法では、種々の実験結果から、照射する波長に応じて吸収率を算出するようにしているため、効率よくアニールを行うことができる。

また、本発明の接合の形成方法は、前記半導体基板が、n型シリコン基板であり、前記不純物が、前記シリコン基板表面に導入されたボロンであるものを含む。

また、本発明の接合の形成方法は、n-Si(100)基板及び数度傾けた面を保有する n-Si(100)基板にプラズマドーピングによりボロンを不純物として導入する工程と、前記ボロンの導入された n-Si(100)基板に、375 nm 以上 800 nm 以下のレーザー光を照射して電氣的に活性化させる工程とを含む接合の形成方法において、前記ボロンの導入された層の 375 nm 以上、800 nm 以下の光に対する光の吸収率が $A > 1 E 1 9 \lambda^{6.833}$ であるものを含む。

また、本発明の接合の形成方法は、n-Si(100)基板及び数度傾けた面を保有する

n-Si(100)基板にプラズマドーピングによりボロンを不純物として導入する工程と、前記ボロンの導入された n-Si(100)基板に、375 nm 以上 800 nm 以下のレーザー光を照射して電氣的に活性化させる工程とを含む接合の形成方法において、前記ボロンの導入された層の 375 nm 以上、800 nm 以下の光に対する光の吸収
5 係数が $\alpha > 1 \text{ E } 2 \text{ 4 } \lambda^{-7.1693}$ であるものを含む。

また、本発明の接合の形成方法は、前記不純物導入工程が、He で希釈したボロンを含むプラズマを n-Si(100)基板及び数度傾けた面を保有する n-Si(100)基板に照射してプラズマドーピングするものを含む。

また、本発明の接合の形成方法は、前記光の吸収係数は、空気、薄膜（ボロンを導入した層）、シリコン基板の 3 層構造において入射角 70 度としてエリプソメータで測定するものを含む。
10

また、本発明の接合の形成方法は、前記光の吸収率が、空気、薄膜（ボロンを導入した層）、シリコン基板の 3 層構造で入射角 70 度としてエリプソメータで光の吸収係数とボロンを導入した層の厚さを測定した後、ボロンを導入した層の厚さを D (cm) として、 $A = 100 \times (1 - \exp(-\alpha \cdot D))$ を用いて算出するものを含む。
15

さらには、本発明では電磁波を照射する前に He プラズマ、Ar プラズマ、He を含むプラズマ、Ar を含むプラズマを固体基体に照射する工程と不純物となるべき粒子を含むプラズマを固体基体に照射してプラズマドーピングする工程を組み合わせた工程を経ることを特徴とする。例えば、He プラズマをシリコン基板に照射した後、ボロンを含むプラズマでプラズマドーピングをすることも望ましい。
20 または、ボロンを含むプラズマでプラズマドーピングした後に、He プラズマをシリコン基板に照射してもよい。

本発明によれば、光の吸収係数は、空気、ボロンを導入した層、シリコン基板の 3 層構造で入射角 70 度としてエリプソメータで測定して検査できる。また、光の吸収率は、空気、ボロンを導入した層、シリコン基板の 3 層構造で入射角 70 度としてエリプソメータで光の吸収係数とボロンを導入した層の厚さを測定した後、ボロンを導入した層の厚さを D (cm) として、 $A = 100 \times (1 - \exp(-\alpha \cdot D))$ を用いて算出することができる。
25

この吸収率を満たし、効率よくボロンが活性化されるようにしているため、浅い接合を効率よく形成することができる。
30

また、 n -Si(100)基板を SOI 基板、歪みシリコン基板、ガラス基板上に形成された半導体薄膜に置き換えても有効である。

さらに上記接合の形成方法を用いて製造した半導体装置あるいはこれを用いて形成した液晶基板などの電子素子も有効である。

5 また本発明では、上記接合の形成方法において、基板の光学的特性はエリプソメトリ、XPS を用いてもよい。

また本発明では、上記接合の形成方法において、前記プラズマドーピング工程は、プラズマに印加する電源電圧、プラズマの組成、ドーパント物質を含むプラズマ照射の時間とドーパント物質を含まないプラズマ照射の時間の比の少なくとも 1 つを制御する工程を含む。

この方法により、効率よい制御が可能となる。ここでプラズマの組成とはドーパントとなる不純物物質とその他の物質との混合比、真空度、その他の物質間の混合比等を調整して制御される。

また本発明では、上記基板の製造方法において、プラズマドーピング工程は、
15 不純物物質、これらに対する混合物質としての、不活性物質、反応性物質の混合比を変化させることによって、不純物の導入された領域の光学的特性を制御する工程を含む。ここでは、不純物物質としての砒素、磷、ホウ素、アルミニウム、アンチモン、インジウムなどの物質、これらに対する混合物質としての、ヘリウム、アルゴン、キセノン、窒素などの不活性物質、酸素、シラン、ジシランなど
20 の反応性物質の混合比を変化させることによって、光学的特性を制御する。

また本発明の接合の形成方法は、前記プラズマドーピング工程が、前記アニール工程において、前記不純物の導入された領域に含まれる不純物の電氣的活性化を促進するとともに、前記基板へのエネルギー吸収を抑制し得るように、前記不純物の導入された領域の光学定数を設定するものを含む。

25 この方法により、基板温度を上昇させることなく選択的に効率よくアニールを実現することができる。

なおここで、アニールに照射するエネルギーは光エネルギーのみならず、広義での電磁波であればよい。光源としては、キセノンフラッシュランプなどのハロゲンランプ光のみならず、白色光、全固体レーザ光、エキシマレーザ光等を照射
30 する方法も適用可能である。

キセノンフラッシュランプ光、固体レーザー光、エキシマレーザー光は、いずれもハロゲンランプ光よりも短波長に強度のピークを持っている。例えば、従来のタングステンハロゲンランプ光の場合は 1000-1100 nm に強度のピークを持つ
5 のに対して、キセノンフラッシュランプ光は 400-500 nm、エキシマレーザー光は 400 nm 以下の波長でピークを持つ。短波長で強度のピークを持つため、シリコンに効率よく光を吸収させることができる（非特許文献 1、2 参照）。これにより、基板表面の浅い部分で光のエネルギーを吸収させて浅い活性化層を形成することができる。

但し、不純物を導入する工程とは、以下実施例で具体的に説明する通り、単に
10 不純物を導入するという事では無く、引き続き実施される光照射を中心とするアニール工程において、効率良くエネルギーが吸収される様に、不純物物質、希ガス、窒素などの不活性物質、酸素、シラン、ジシランなどの反応性物質を組み合わせると同時に、あるいは逐次的に供給され、アニール工程に最適な光学的特性を形成する。本発明における「不純物導入工程」とは上記一連の工程を指す。

15 またこの発明において光を照射する工程は、電磁波を照射する工程に置き換えることもでき、電磁波成分の追加により、より有効に薄膜内での選択的なアニールを実現することができる。

以上説明してきたように、本発明では、基板表面の状態を、ボロンなどの不純物の活性化に適したように、波長に基づく理論値に従って、厚さ、不純物濃度など
20 を調整しているため、効率よくアニールがなされる。すなわち、その不純物の存在する領域で効率よく活性化されるように構成されるため、半導体薄膜中もしくは半導体薄膜に接した不純物元素が半導体薄膜中に効率的に拡散し、電気的な活性化をはかることができ、浅い位置で効率よく接合を形成することができる。

従って工程が簡単でスループットが高く、照射する電磁波の波長に対応した適切な基板表面の状態を作った後に、電磁波を照射して不純物を電気的に活性化させる接合の形成方法を提供することが可能となる。
25

<図面の簡単な説明>

図 1 は、本発明の実施の形態の基板を示す図である。

30 図 2 は、本発明実施の形態の基板を形成するためのドーピング装置を示す図で

ある。

図 3 は、本発明実施例のドーピング層の光学特性と照射する光の強度分布の組み合わせ例を示す図である。

図 4 は、本発明実施例と比較例のドーピング層の光学特性を示す図である。

- 5 なお、図中の符号 1 0 0 は半導体基板、1 1 0 は不純物薄膜、2 0 0 は真空チャンバ、2 1 0 は真空ポンプ、2 3 0 は真空計、2 4 0 はプラズマ源、2 5 0 は電源、2 6 0 は基板ホルダ、2 7 0 は電源、2 8 0 はドーパント物質を供給するライン、2 9 0 はその他の物質 1 を供給するライン、2 0 0 はその他の物質 2 を供給するライン、3 1 0 はプラズマ、4 0 0 は光源、4 1 0 は測光器である。

10

<発明を実施するための最良の形態>

次に、本発明の実施の形態について説明する。

- ここでは、不純物の導入された薄膜を有する基板の状態を、光学的測定によって検知することにより、活性化に最適な状態にすることができる。これは単に、
15 不純物そのものの光学的測定のみならず、薄膜自体の結晶状態、導入時のエネルギーによるダメージなどの薄膜の結晶状態の物理的変化、酸化層、窒化層の生成など薄膜の化学的変化をも含めた“複合的な層”の状態として、光学的に測定することを意味する。

20 (実施の形態 1)

本実施の形態 1 では、基板の基本構成を説明する。図 1 に示すように、 n -Si(100) 基板 1 0 0 上に、基板中で電氣的に活性化されることでキャリアとなり得る不純物原子を主成分とする不純物薄膜 1 1 0 が形成されている。

- すなわち、不純物薄膜 1 1 0 は、アモルファス薄膜で構成され、多量の格子欠
25 陥を含むものとなっている。

- この状態は、例えば、半導体基板に対し、格子の結合エネルギーよりも十分高いエネルギー（数 1 0 e V 以上）の粒子を用いて不純物導入を行うことによって得られる。半導体薄膜に不純物導入を行う際、格子の結合エネルギーよりも十分高いエネルギー（数 1 0 e V 以上）の粒子を用いる場合には、半導体基板あるい
30 は半導体基板上に形成された半導体薄膜を形成する結晶もしくは非結晶物質を構

成する格子に対する格子欠陥の形成によって、あるいは不純物物質自体によって半導体薄膜の物性が変化せしめられ、本来の半導体基板あるいは半導体薄膜とは異なる物性をもつ不純物薄膜 110 が形成される。またここでは、半導体基板 100 自体に格子欠陥が導入されて本来の物性から変化した状態となっている。

- 5 まず、本実施の形態で用いられるプラズマ CVD 装置を兼ねたプラズマドーピング装置について説明する。本実施の形態で用いられるドーピング装置は、図 2 に示すように、半導体基板 100 に対して不純物を導入し不純物薄膜 110 を形成するものである。

10 ここでは後述するように表面に不純物の導入された不純物薄膜 110 の形成された半導体基板 100 の光学的特性を測定する測定手段としての光源 400 および測光器 410 と、この測定手段によって得られた光学的特性に基づいて、ドーピング条件を制御する制御手段とを具備し、最適な表面状態を得ることができるようにドーピング条件をフィードバック制御するものである。

15 すなわちこのプラズマドーピング装置は、真空チャンバ 200 と、この真空チャンバ 200 内にプラズマを生起するプラズマ源 240 とを具備し、基板ホルダ 260 に載置された、被処理基体としての半導体基板 100 の表面にプラズマドーピングを行うものである。

20 そして、この真空チャンバ 200 には、真空ポンプ 210 が接続され、真空測定の為の真空計 230 が設置されており、プラズマ源 240 には電源 250 が接続されている。また、基板ホルダ 260 には、独自の電氣的ポテンシャルを印加するための、電源 270 が、前述の電源とは別途接続されている。

25 また真空チャンバ 200 にはこれらのガスを導入するためのガス導入機構が設置されている。このガス導入機構は、ドーパント物質としての第 1 の物質を供給する第 1 のライン 280、その他の物質である第 2 の物質を供給する第 2 のライン 290（この場合は H e）、その他の第 3 の物質を供給する第 3 のライン 300（この場合は A r）で構成される。

30 また、必要に応じて、測光器 410 で測定した光学的特性を演算する計算機 320 と、この演算結果に基づいて制御条件を決定する制御回路 340 と、制御回路 340 の出力に基づいてプラズマドーピング装置のドーピング条件を、フィードバック制御する制御器 350 とを具備した制御装置を具備するように形成して

もよい。

まず、真空チャンバを所定の圧力に調整し、通常の方法でガスを供給することによりプラズマを生成し、ドーピングを行う。

ここでは、ドーピング源としてガスを利用する場合について説明する。

- 5 まず、真空チャンバ200に第1の物質としてのドーパント物質を供給する。
ここでは、ドーパント物質とこれとは異なるその他の物質をキャリアガスとして又は特定の機能を保有する材料として導入する。本実施の形態では、ドーパント物質とは異なる性質のガス、例えば、希ガスなどで（質量が異なり）、電気的にはシリコン中で活性にならない物質を選択した。例として、HeやArである。
- 10 これをその他の第2の物質としてHeを、その他の第3の物質としてArを選択した。さて、前述の第1乃至第3のライン280、290、300で構成されるガス導入ラインからガスを導入し、真空チャンバ200内の固体基板100表面でプラズマ310を発生させる。

- このプラズマ310と半導体基板100表面との電氣的ポテンシャル差によつて、プラズマ中の荷電粒子が引き寄せられて、不純物ドーピングが行われる。同時にプラズマ中の電氣的中性物質はこの固体基板100表面付近に付着もしくは吸蔵される。ここでは表面の状態は、下地である半導体基板100の状態および、プラズマのもつエネルギーによって決まり、付着状態であっても良いし吸蔵されていてもよい。ここでは半導体基板100に吸蔵されるとともにアモルファスの
- 15 不純物薄膜として半導体基板100の表面に付着する。
- 20 この不純物ドーピング工程によって、前記実施の形態で説明した不純物導入層110が半導体基板100表面に形成される。望ましくはこの不純物導入層の物性を測定するために、真空チャンバ200には光源400と測光器410が配設されている。そして測光器130で測定した光学的特性を計算機320で演算し、

- 25 この演算結果を制御回路340に送り、フィードバック情報として制御器350へデータを送ることによって、プラズマドーピング装置はプラズマ条件を調整し、不純物導入層の物性を制御する。

- ここで調整されるプラズマ条件としては、プラズマに印加する電源電圧、あるいは電圧印加時間及び印加タイミング、ドーパント物質とその他の物質の混合比、
- 30 真空度、その他の物質間の混合比、ドーパント物質を含むプラズマ照射の時間と

ドーパント物質を含まないプラズマ照射の時間帯の比などであり、これらのパラメータを変化させ、不純物導入層の物性を制御する。

半導体基板 100 に対して十分に低い電氣的ポテンシャル差、例えば 20 eV でドーピングを行うことにより、半導体基板 100 の表面に不純物薄膜層が形成される。

一方、半導体基板 100 に対して十分に高い電氣的ポテンシャル差、例えば 200 eV でドーピングを行うことにより、不純物を大量に含むプラズマが直接半導体薄膜に接しているときは、十分高いエネルギーを帯びたイオンが半導体薄膜表面に侵入し、半導体基板 100 の表面に不純物導入層である不純物薄膜 110 が形成される。またキャリアガスを使用している場合にはキャリアガスのプラズマ中のイオンも半導体薄膜表面に侵入し、結晶を壊しながら不純物を混入させていき、アモルファス半導体層とボロン層との混合層が形成される。その後、混合層表面で不純物例えばボロンの濃度が混合層内で含み得る飽和量を超えるとアモルファスのボロン薄膜（不純物薄膜）が形成される。

図 3 は本発明の実施の形態の一例であり、照射する光が有する光の強度分布と照射される基板が有する光の吸収係数の分布を示したものである。照射する光はキセノンフラッシュランプ光を示した。このキセノンフラッシュランプ光は、曲線 a で示すように、470 nm 付近の波長に強度のピークをもっている。ここでは、375 nm 以上 800 nm 以下の波長に強度のピークを持つ光として例示した。

図中の PD-1 で示した曲線は、n-Si(100)基板にボロンをプラズマドーピングした後の光の吸収係数である。PD-1 におけるボロンの導入は、He で希釈したボロンを含むプラズマを n-Si(100)基板に照射してプラズマドーピングしたものである。ドーピング時間は 60 秒である。7 秒や 30 秒のドーピングでも同様の結果を得ている。PD-1 のボロンを導入した層の光の吸収係数は、波長を λ (nm) とし、吸収係数を α (cm⁻¹) とすると、波長が 375 nm 以上で 500 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 38 \lambda^{-12.505}$ 、波長が 500 nm 以上で 600 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 24 \lambda^{-7.2684}$ 、波長が 600 nm 以上で 700 nm 未満のときは $\alpha > 2 E 19 \lambda^{-5.5873}$ 、波長が 700 nm 以上で 800 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 17 \lambda^{-4.7782}$ であった。図 3 から明らかなように n-Si(100)基板に比べて PD-1 のプラズマドーピング後の方がキセノンフラッシュランプ光に対する光の吸収係数が高いことが了解できる。

図中の PD-2 で示した曲線は、PD-1 とは異なる条件でプラズマドーピングしたときの光の吸収係数である。ドーピング時間は 30 秒である。PD-2 は、n-Si(100) 基板や PD-1 と比較して吸収係数はさらに高い値であった。

図 4 は本発明の実施の形態の一例であり、照射する光がレーザーの場合に照射される基板が有するべき光の吸収係数の分布を示したものである。照射する光がレーザーのように単一の波長からなる場合には、波長に対して強度分布をもつ光と比較して、ドーピング層と n-Si(100) 基板の光の吸収係数の差をより大きくしておくことが必要である。PD-3 はドーピング条件を調整して 500-550 nm の波長のレーザーに適応するように作成したドーピング層の光の吸収係数の曲線である。

この曲線よりも吸収係数が小さい場合には、レーザーアニール後のボロンは深くまで拡散した。つまり、ボロンを導入した層の 375 nm 以上、800 nm 以下の光に対する光の吸収係数が $\alpha > 1 \text{ E } 24 \lambda^{-7.1693}$ である場合にのみボロンの深さ分布を大きく動かさずに電氣的に活性化させることができた。図中の PD-3 で示した曲線よりも吸収係数が小さい場合には、表面のドーピング層でレーザーのエネルギーを十分に吸収しきれずに、ドーピング層の下のシリコン基板でエネルギーを吸収する割合が高かったためであろうと考えている。

表 1 を用いて、実施例のボロンの拡散深さを説明する。ボロンの拡散深さは、ボロン濃度が $1 \text{ E } 18 \text{ cm}^{-3}$ となる深さとし、 X_j で表記することとする。そして、ドーピング後の X_j と光を照射した後の X_j の差を ΔX_j とする。実施例 A は、PD-1 のプラズマドーピングと、375 nm 以上 800 nm 以下の波長に強度のピークを持ち、且つ、波長に対して強度分布を持つ光を照射した工程の組み合わせである。このとき、 ΔX_j は数 nm から 4 nm 以下である。このときの ΔX_j の平均値を 1 としして他のサンプルの ΔX_j を規格化して説明する。実施例 B は、PD-3 のプラズマドーピングと、375 nm 以上 800 nm 以下のレーザー光を照射した工程の組み合わせである。このときの ΔX_j は実施例 A と同等で、その比は 0.9 である。

(表 1)

	実施例 A	実施例 B	比較例
ΔX_j の比	1.0	0.9	10

上記のようにプラズマドーピングをすることで $n\text{-Si}(100)$ と比べて光の吸収係数の高いドーピング層を 1 つの工程で簡単につくることができる。また、ドーピング層の光学特性と照射する光を適切に選択することで、 X_j をほとんど変化させずにボロンを電氣的に活性化することができ、高性能の浅い接合を形成できる。

5 ここで、プラズマドーピング条件を変えることでドーピング層の光学特性を容易に調整することができる。

次に比較例について説明する。

表 1 を用いて、実施例と比較例のボロンの拡散深さの違いを説明する。プラズマドーピングでボロンを導入した後のドーピング層の光の吸収係数が PD-1 であるサンプルに、375 nm 以上 800 nm 以下の波長に強度のピークを持つレーザーを照射した。つまり、比較例は PD-1 のプラズマドーピングと 375 nm 以上 800 nm 以下の波長に強度のピークを持つレーザーの組み合わせである。PD-1 のプラズマドーピングした試料では、PD 層で吸収する光のエネルギーは PD-2 と比較して

10 1 桁程度小さい。故に、PD 層より深い基板で、ここでは、例えば $n\text{-Si}(100)$ で光を吸収する割合が高くなる。 $n\text{-Si}(100)$ は光の吸収係数が小さいので、深い範囲まで光のエネルギーが届くことになる。つまり、ボロンは深くまで拡散することになる。そこで、 ΔX_j を比べると、実施例 A が 1 に対して、比較例が 10 程度となる。つまり、比較例は実施例と比べてボロンが 1 桁深くまで拡散してしまい、目的である浅い接合の形成が出来ないことは明らかである。

15 20

なお、前記実施の形態では、 $n\text{-Si}(100)$ 基板にボロン拡散層を形成することにより浅い $p\text{-}n$ 接合を形成する方法について説明したが、 $n\text{-Si}(100)$ 基板に限定されることなく数度傾けたものでもよいし、また不純物についても導電型についても変更可能であることはいうまでもない。さらには化合物半導体における接合の形成

25 においても温度上昇を抑制しつつ実現可能であるため、接合レベルのずれを低減し、信頼性の高い $p\text{-}n$ 接合を実現することが可能となる。

本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

30

本出願は、2003 年 10 月 9 日出願の日本特許出願No.2003-350368、
に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

5 <産業上の利用可能性>

以上説明してきたように、本発明によれば、照射する電磁波の波長に対応した適切な基板表面の状態を作った後に、電磁波を照射して不純物を電氣的に活性化させるようにしているため、工程が簡単でスループットが高く、浅い接合が容易に形成可能であることから、微細な半導体集積回路の形成に有効である。

請 求 の 範 囲

1. 半導体基板表面に前記半導体基板中で電氣的に活性になる元素を含む
5 薄膜を形成する工程と、

前記薄膜を選択的に励起し、前記薄膜内で、前記元素を活性化するように、前記半導体基板に、375nm 以上の波長に強度のピークを持つ光を照射する工程とを含む接合の形成方法。

10 2. 前記光を照射する工程は、

前記薄膜の光の吸収率が、波長を λ (nm) とし、吸収率を A (%) として、波長が 375 nm 以上で 500 nm 未満のときは $A > 7 E 3 2 \lambda^{-12.316}$ 、波長が 500 nm 以上で 600 nm 未満のときは $A > 2 E 1 9 \lambda^{-7.278}$ 、波長が 600 nm 以上で 700 nm 未満のときは $A > 4 E 1 4 \lambda^{-5.5849}$ 、波長が 700 nm 以上で 800 nm 未満のときは $A > 2 E 1 2 \lambda^{-4.7773}$ の少なくとも 1 つを満たす工程である請求の範囲第 1 項に記載の接合の形成方法。

3. 前記光を照射する工程は、

前記薄膜の光の吸収係数が、波長を λ (nm) とし、吸収係数を α (cm⁻¹) として、
20 波長が 375 nm 以上で 500 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 3 8 \lambda^{-12.505}$ 、波長が 500 nm 以上で 600 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 2 4 \lambda^{-7.2684}$ 、波長が 600 nm 以上で 700 nm 未満のときは $\alpha > 2 E 1 9 \lambda^{-5.5873}$ 、波長が 700 nm 以上で 800 nm 未満のときは $\alpha > 1 E 1 7 \lambda^{-4.7782}$ の少なくとも 1 つを満たす工程である請求の範囲第 1 項に記載の接合の形成方法。

25

4. 前記半導体基板は、N型のシリコン基板であり、

前記不純物は、前記シリコン基板表面に供給されるボロンであることを特徴とする請求の範囲第 1 項乃至第 3 項のいずれかに記載の接合の形成方法。

30 5. 375 nm 以上 800 nm 以下の波長に強度のピークを持つ光がキセノン

フラッシュランプ光であることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第4項のいずれかに記載の接合の形成方法。

- 5 6. n-Si(100)基板及び数度傾けた面を保有する n-Si(100)基板にプラズマドーピングによりボロンを不純物として導入する工程と、
前記ボロンの導入された n-Si(100)基板に、375 nm 以上 800 nm 以下のレーザー光を照射して電氣的に活性化させる工程とを含む接合の形成方法において、
前記ボロンの導入された層の 375 nm 以上、800 nm 以下の光に対する光の吸収率が $A > 1 E 1 9 \lambda^{-6.833}$ であることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第5項の
10 いずれかに記載の接合の形成方法。

7. n-Si(100)基板及び数度傾けた面を保有する n-Si(100)基板にプラズマドーピングによりボロンを不純物として導入する工程と、
前記ボロンの導入された n-Si(100)基板に、375 nm 以上 800 nm 以下のレーザー光を照射して電氣的に活性化させる工程とを含む接合の形成方法において、
15 前記ボロンの導入された層の 375 nm 以上、800 nm 以下の光に対する光の吸収係数が $\alpha > 1 E 2 4 \lambda^{-7.1693}$ であることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第6項のいずれかに記載の接合の形成方法。

- 20 8. 前記不純物導入工程は、He で希釈したボロンを含むプラズマを n-Si(100)基板及び数度傾けた面を保有する n-Si(100)基板に照射してプラズマドーピングすることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第7項のいずれかに記載の接合の形成方法。

- 25 9. 前記光の吸収係数は、空気、前記薄膜、前記半導体基板の3層構造において入射角 70 度としてエリプソメータで測定することを特徴とする請求の範囲第3項乃至第8項のいずれかに記載の接合の形成方法。

- 30 10. 前記光の吸収率は、空気、前記薄膜、前記半導体基板の3層構造で入射角 70 度としてエリプソメータで光の吸収係数とボロンを導入した層の厚さ

を測定した後、ボロンを導入した層の厚さを $D(\text{cm})$ として、 $A=100 \times (1 - \exp(-\alpha \cdot D))$ を用いて算出することを特徴とする請求の範囲第 2 項、第 4 項乃至第 8 項のいずれかに記載の接合の形成方法。

5 1 1. 固体基体に不純物を導入した後、電磁波を照射して電氣的に活性化させる接合の形成方法において、

前記光照射に先立ち、He プラズマ、Ar プラズマ、He を含むプラズマ、Ar を含むプラズマのいずれかを照射することを特徴とする接合の形成方法。

10 1 2. 半導体基板に不純物を導入した後、電磁波を照射して電氣的に活性化させる接合の形成方法において、

前記光照射に先立ち、He プラズマ、Ar プラズマ、He を含むプラズマ、Ar を含むプラズマのいずれかを前記半導体基板に照射する工程と不純物となるべき粒子を含むプラズマを固体基体に照射してプラズマドーピングする工程を組み合わせた工程を経ることを特徴とする請求の範囲第 1 項乃至第 1 1 項のいずれかに記載の接合の形成方法。

1 3. 前記基板は、表面にシリコン薄膜を形成した SOI 基板である請求の範囲第 1 項乃至第 1 2 項のいずれかに記載の接合の形成方法。

20

1 4. 前記基板は、表面にシリコン薄膜を形成した歪みシリコン基板である請求の範囲第 1 項乃至第 1 2 項のいずれかに記載の接合の形成方法。

1 5. 前記基板は、表面にポリシリコン薄膜を形成したガラス基板である
25 請求の範囲第 1 項乃至第 1 2 項のいずれかに記載の接合の形成方法。

1 6. 請求の範囲第 1 項乃至第 1 5 項のいずれかに記載の接合の形成方法を用いて形成された被処理物。

図 1

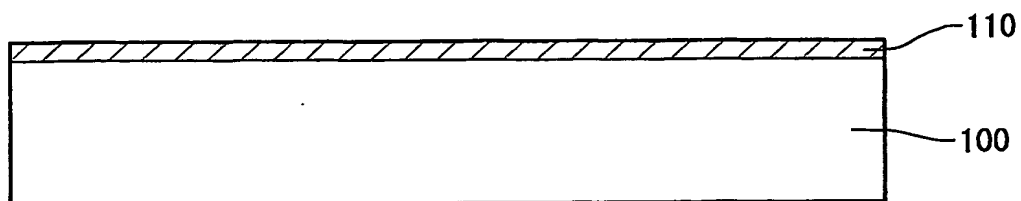


図 2

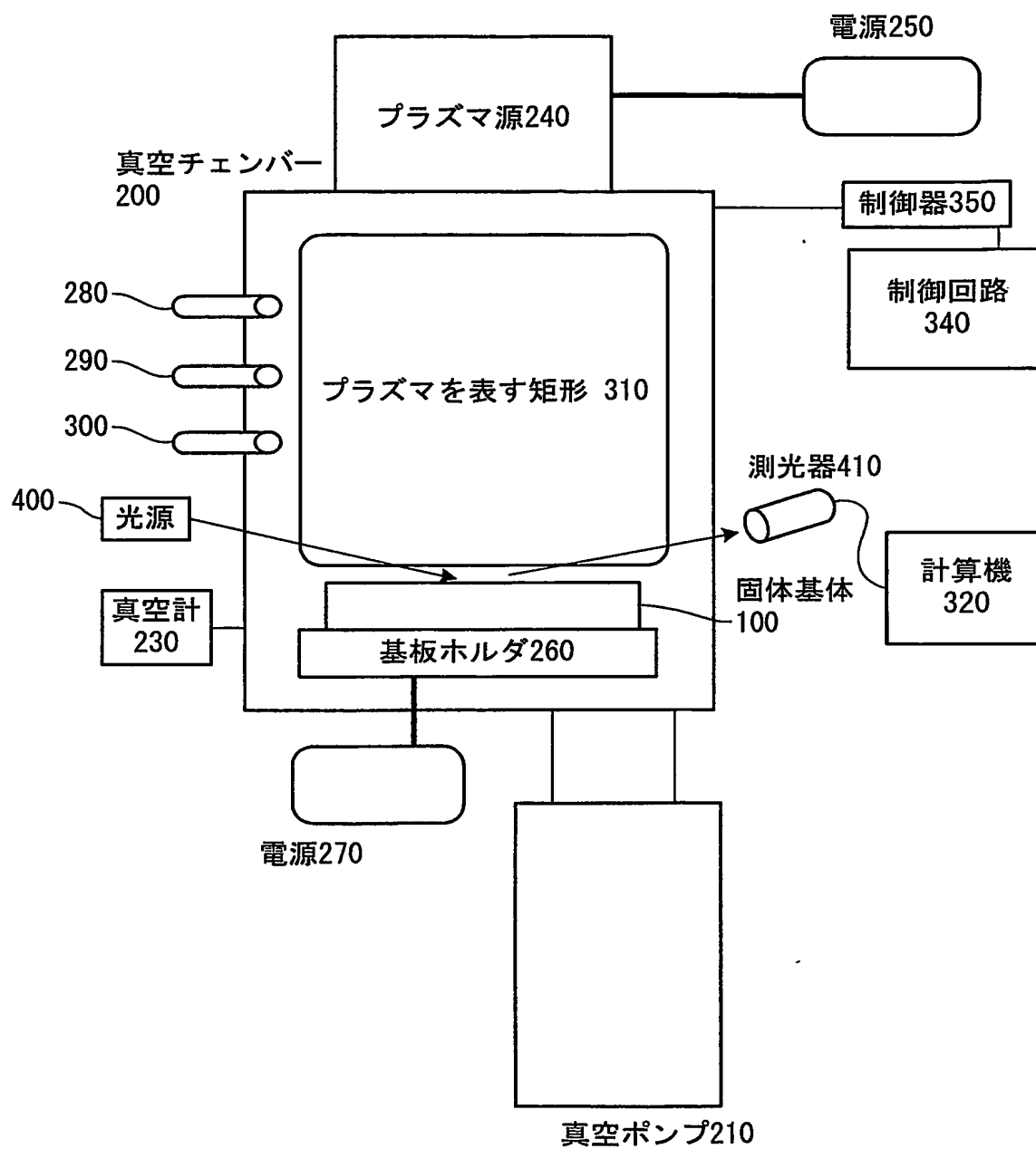


図 3

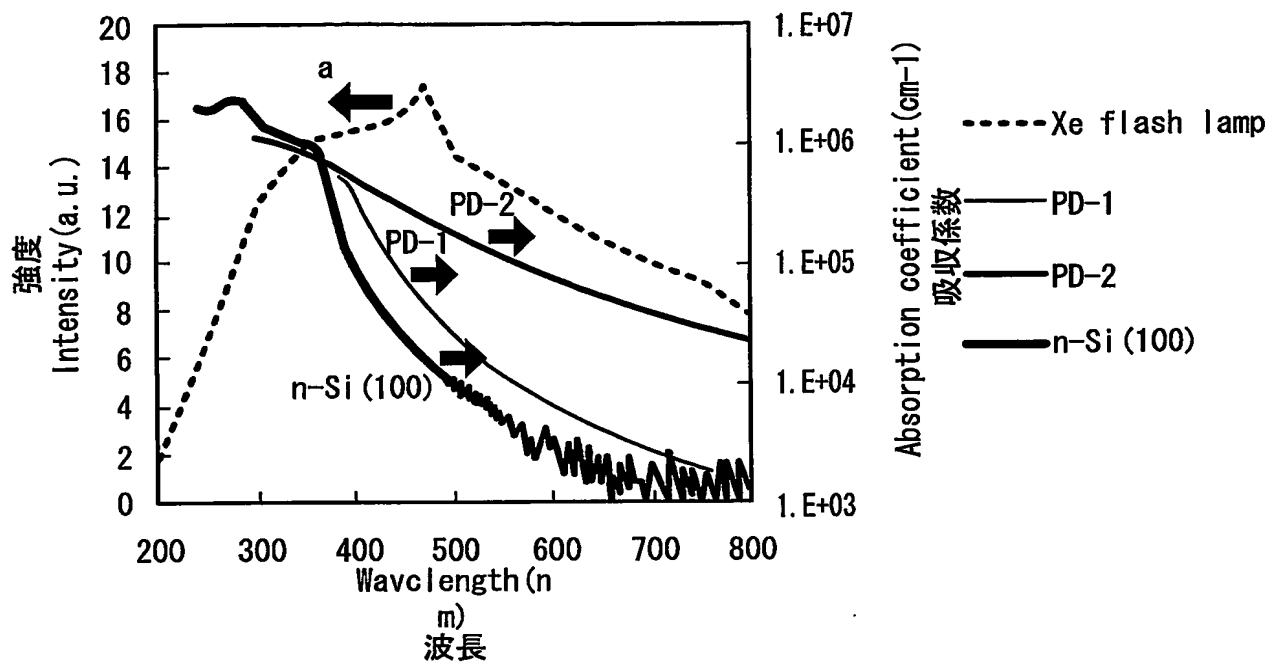
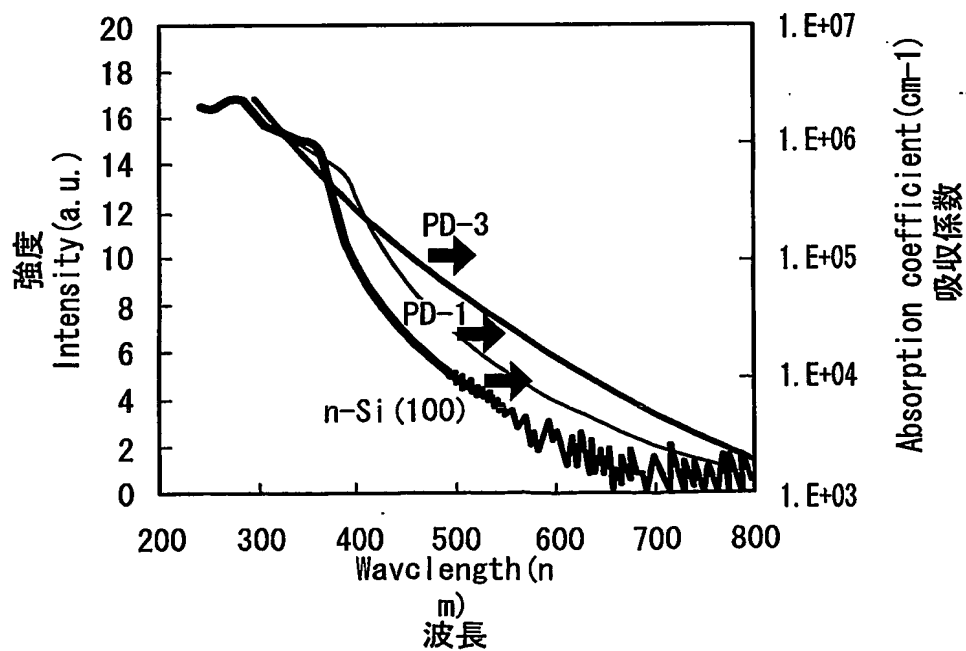


図 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/015308

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/22, H01L21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/22, H01L21/265

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 9-17867 A (NKK Corp.), 17 January, 1997 (17.01.97), Full text; all drawings Full text; all drawings (Family: none)	1-5, 13-16 6-12
X A	JP 5-206053 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 13 August, 1993 (13.08.93), Full text; all drawings Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 13-16 5-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 December, 2004 (24.12.04)

Date of mailing of the international search report
18 January, 2005 (18.01.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/015308

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2003-528462 A (VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC.), 24 September, 2003 (24.09.03), Full text; all drawings Full text; all drawings & WO 2001/0714787 A1 & EP 1264335 A1	1-4, 13-16 5-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. ⁷ H01L21/22、H01L21/265

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. ⁷ H01L21/22、H01L21/265

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	JP 9-17867 A(日本鋼管株式会社)1997.01.17, 全文、全図 全文、全図(ファミリーなし)	1-5, 13-16 6-12
X A	JP 5-206053 A(松下電器産業株式会社)1993.08.13, 全文、全図 全文、全図(ファミリーなし)	1-4, 13-16 5-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.12.2004

国際調査報告の発送日

18.1.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

綿引 隆

4M

2934

電話番号 03-3581-1101 内線 3460

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	JP 2003-528462 A (ハリアン・セミコンダクター・エキップメント・アソシエツ・インコーポレイテッド) 2003.09.24 全文、全図 全文、全図 & WO 2001/0714787 A1 & EP 1264335 A1	1-4, 13-16 5-12